



Universidad
Carlos III de Madrid

Discurso de investidura como Doctor Honoris Causa del Profesor Doctor Amable Liñán Martínez

Nombrado Doctor Honoris Causa en el acto del día de la Universidad del curso 93/94

Excmo. y Magnífico Sr. Rector, Excmo. Sr. Director General, señoras y señores:

Debo empezar cumpliendo con la obligación noble de expresar mi agradecimiento a la Universidad Carlos III por esta distinción que me honra y me obliga al mismo tiempo.

Recibí con gran emoción la notificación de mi nombramiento. En primer lugar, porque proviene de una universidad joven, que nació con vocación de excelencia. Esta se manifiesta en el profesorado y en el personal que se está incorporando a la misma y, también, en sus proyectos docentes y de investigación. En segundo lugar, porque entre el personal docente de esta Universidad se encuentran cinco de mis más distinguidos colaboradores en mis tareas docentes e investigadoras. Uno de ellos es el que ha tenido a bien actuar de padrino en este acto; me ha precedido en esta tribuna con una laudatio que contiene elogios que responden más que a la realidad, a la amistad profunda que nos une y que arranca de su período de formación como Doctor. En nuestro trabajo posterior en colaboración se ha invertido la relación profesor alumno.

Estoy seguro que la Universidad Carlos III busca, con la distinción con que he sido honrado, conservar y respaldar esta colaboración en la docencia y en la investigación. Esta colaboración ha sido extraordinariamente fructífera para nuestros proyectos en la Universidad Politécnica, y espero lo seguirá siendo y que lo será también para los proyectos nacientes de la Carlos III.

La Universidad, y dentro de ellas las Escuelas de Ingeniería, debe ocuparse de transmitir el conjunto de conocimientos que según el diccionario son la base de la Ingeniería; esto es, los conocimientos que permiten aplicar el saber científico a la utilización de los materiales y de las fuentes de energía, mediante invenciones o aparatos útiles para el hombre. Pero también es una tarea de la Universidad contribuir a aumentar nuestros conocimientos mediante la investigación, anticipándose a los retos del futuro en un mundo como el actual, de tecnología tan rápidamente cambiante.

Pocas tareas hay tan gratificantes como la docencia, cuando uno consigue transmitir a los alumnos el entusiasmo por la adquisición de conocimientos, basados en el orden armonioso, siempre sorprendente, de los fenómenos físicos; haciéndoles ver las posibilidades que ofrecen estos conocimientos para la concepción, diseño, fabricación, mantenimiento y utilización de sistemas de ingeniería más eficientes.

Cuán gratificante es también la tarea del profesor que se esfuerza en contribuir con su trabajo de investigación a la suma de los conocimientos científicos, y consigue despertar en sus alumnos el interés por descubrir nuevos conocimientos, nuevas herramientas o nuevos conocimientos útiles para el análisis y solución de los problemas de ingeniería.

Cuando yo llegué a la Universidad no se había implantado el doctorado en las Escuelas de Ingeniería. Sin embargo, yo tuve la fortuna de encontrar en la Escuela de Ingenieros Aeronáuticos un grupo de profesores, dirigidos por Gregorio Millán, que me acogieron como becario y me hicieron ver, con su ejemplo, que también en España era posible contribuir a ampliar el conjunto de conocimientos necesarios para la solución urgente de los problemas de ingeniería.

Yo siguiendo a mis maestros he animado a mis alumnos para que se esfuercen en la búsqueda de explicaciones racionales de los procesos fluidodinámicos y de combustión; de manera que proporcionen conceptos y herramientas que permitan obtener predicciones útiles para la ingeniería. He tenido la suerte de contar en este empeño con alumnos y colaboradores brillantes que han respondido a este estímulo con contribuciones muy importantes a la mecánica de fluidos y combustión. Se ha invertido así el binomio profesor/alumno, siendo los alumnos los que se encargan con sus contribuciones científicas, de mantener el entusiasmo del antiguo profesor y también, especialmente en mi caso, son ellos los responsables del prestigio y honores con que he sido agraciado.

La tarea de la investigación, cuando tiene como objetivo proporcionar las herramientas que ayuden a resolver los problemas de la ingeniería, es obligatoriamente interdisciplinar, y por ello tarea colectiva. Este ha sido el caso de mi actividad investigadora, junto a mis alumnos y colaboradores, en mecánica de fluidos y combustión. Para que el esfuerzo investigador tenga sus frutos hay que contribuir al mismo con habilidades muy diversas, tanto desde el punto

de vista teórico como experimental.

Desde el punto de vista teórico, porque hay que reunir las leyes y conceptos de disciplinas muy diversas para establecer el marco teórico que permita el análisis de los sistemas complejos de la ingeniería. Pero al ingeniero no le basta conocer las leyes básicas que rigen el proceso que analiza: para el diseño de los sistemas, necesita conocer las propiedades de las soluciones, o las soluciones mismas, correspondientes a las condiciones de contorno que impone el sistema que se analiza. Deducir las propiedades de las soluciones, aun dejando de lado el objetivo de obtener las soluciones mismas, es una tarea matemática extraordinariamente difícil; especialmente cuando se trata de los sistemas de ecuaciones no lineales tan complejos como los de la dinámica de fluidos y combustión. Este análisis teórico se simplifica cuando se aprovecha la gran disparidad en el tamaño de escalas temporales y espaciales que caracterizan estos sistemas.

La posibilidad de dividir el sistema fluido en subsistemas, que interaccionan entre sí con respuesta más simple que el sistema original, se deriva de este carácter multiescalar de los procesos que en ellos encontramos. Las técnicas asintóticas, de escalas múltiples y de los desarrollos asintóticos acoplados, proporcionan la metodología que nos enseña cómo dividir el sistema en subsistemas (por ejemplo, cómo se divide el campo fluido en regiones, algunas de tipo capa o filamento) y cómo obtener las leyes correspondientes a la descripción simplificada de los subsistemas y mecanismos de interacción entre ellos. También en la evolución temporal de los sistemas físicos con escalas dispares encontramos etapas bien diferenciadas; en las que la respuesta del sistema va cambiando porque cambian los mecanismos físicos o químicos determinantes (o los de efecto despreciable).

El análisis asintótico nos ayuda a descubrir y obtener los conceptos teóricos que pueden servir de base, tanto para el análisis numérico de los procesos, como para el análisis experimental. La gran capacidad de los ordenadores actuales nos permite la simulación numérica de sistemas complejos, si previamente se ha simplificado la modelización matemática de los mismos con ayuda de técnicas asintóticas. Estas técnicas pueden utilizarse también para ordenar la ingente masa de datos que proporciona la simulación numérica.

Para la tarea del análisis experimental de los sistemas fluidodinámicos de la ingeniería se necesitan habilidades muy diversas que han de potenciarse en la formación de investigadores en el tercer ciclo de la enseñanza universitaria. Para que el análisis experimental sea eficaz han de concurrir al mismo, de modo coordinado, tareas tan diversas como el diseño de experimentos y de la instalación necesaria, junto con la adaptación de la instrumentación, de los sistemas de visualización, de adquisición de datos y de su tratamiento posterior con ordenador.

Es obvio que todas estas tareas de la investigación experimental deben estar guiadas y apoyadas por el análisis teórico. Este, obviamente, debe guiar también el análisis de los resultados experimentales y ser guiado por ellos. Debe haber una relación muy estrecha entre la observación y el cálculo, las palabras que aparecen en la divisa de nuestra Academia de Ciencias.

La investigación científica con objetivos tecnológicos es pues una tarea colectiva de tipo integrador, que debe llevarse a cabo de un modo coordinado para que sea eficaz. Este es el caso de la investigación de los procesos de combustión, que ha sido el objetivo central de mi trabajo de investigación.

La combustión es una reacción química, con liberación de calor y emisión de luz, entre un combustible (como el carbón, los hidrocarburos líquidos y el gas natural) y el oxígeno del aire. La reacción química tiene lugar en fase gaseosa después de la gasificación del combustible y mezcla con el aire.

Las aplicaciones de la combustión se derivan del carácter exotérmico de estas reacciones químicas y de la radiación luminosa emitida. Desde hace medio millón de años el hombre ha utilizado la combustión para alumbrarnos y para calentarnos y calentar y cocer los alimentos. Pero el calentamiento, asociado a la reacción, de la mezcla reactante y de los productos de la combustión va acompañado por incrementos de presión y expansión de los gases de combustión; de ahí la posibilidad de producir trabajo con ayuda de los gases de combustión. Esta posibilidad se ha aprovechado en las máquinas de vapor, los motores alternativos (de encendido por chispa y Diésel), los turbo-reactores, motores cohete y turbinas de gas que han cambiado radicalmente nuestro modo de vida.

Quemamos anualmente 5.000 millones de toneladas de hidrocarburos otros 2.000 millones de toneladas de carbón. Al ritmo de consumo actual acabaremos en menos de un siglo, con los hidrocarburos líquidos o gaseosos existentes, que han tardado en formarse cientos de millones de años. Este consumo se hace fundamentalmente por los países ricos, con rendimientos muy escasos; típicamente, sólo del orden del 25 por 100 de la energía química se aprovecha como energía mecánica. Pero, por otra parte, los productos de la combustión, esencialmente vapor de agua y dióxido de carbono, van acompañados por sustancias contaminantes (como hidrocarburos sin quemar y óxidos de nitrógeno y azufre) que, aunque emitidos en proporciones mil veces más pequeñas, son dañinos para la salud de las plantas y animales.

De ahí que la tarea de aumentar el rendimiento de los sistemas de conversión de energía y propulsión (basados en la combustión) sea una tarea de extraordinaria importancia económica. Pero este aumento del rendimiento debe hacerse, si tenemos en cuenta el enorme impacto ambiental que tienen los sistemas de combustión, atenuando simultáneamente la emisión de contaminantes. La preocupación creciente de la sociedad por el medio ambiente nos obligará a rediseñar los sistemas de combustión actuales.

En los sistemas de combustión intervienen una gran variedad de procesos y mecanismos físicos. Decíamos que la combustión, o reacción del combustible con el oxígeno del aire, ocurre en fase gaseosa, en la mayoría de las aplicaciones. Por ello, por ejemplo, antes de introducir el carbón en las cámaras de combustión de las centrales

térmicas, éste se tritura y pulveriza para facilitar su gasificación. Las partículas de carbón, con tamaños inferiores a las 100 micras, son arrastradas por una corriente de aire para alimentar la cámara de combustión, mediante un sistema de inyectores. Cada uno de éstos genera un chorro central, de aire primario con partículas de carbón, y un chorro coaxial de aire secundario. El comportamiento de la caldera está determinado por la interacción de estos chorros entre ellos y con los productos de la combustión.

De modo análogo, en las cámaras de combustión de los motores Diesel y de los motores de reacción y cohete, el combustible se inyecta en la cámara en forma de chorros líquidos que, como consecuencia de una variedad de inestabilidades hidrodinámicas, se atomizan para formar con el aire chorros multifásicos, en forma de neblinas formadas por gotas líquidas y aire.

Para aumentar la eficacia de los sistemas de combustión es imprescindible conocer los mecanismos responsables de las inestabilidades que facilitan la atomización y mezcla con el aire de estos chorros de combustible y disponer también de métodos de cálculo, no demasiado costosos, para analizar la dinámica de estos chorros.

Para analizar la mezcla y reacción química de los gases combustibles con el aire, esto es, para la formulación matemática de los procesos de combustión, hemos de aunar las leyes que nos proporciona la teoría de los fenómenos de transporte de calor y masa (incluyendo la radiación), en el marco de la mecánica de fluidos, añadiendo las leyes de la cinética química y de la termodinámica de mezclas reactantes. Tenemos todavía lagunas importantes para esta formulación en cuanto a la cinética de las reacciones químicas y, en particular, respecto al mecanismo y cinética de formación y crecimiento por aglomeración del hollín o carbonilla, que juega un papel importante en el transporte de energía por radiación.

Por otra parte, los flujos que encontramos en los sistemas de combustión son turbulentos. La cualidad turbulenta de estos flujos es imprescindible para hacer rápido y eficaz el proceso de mezcla. El carácter caótico, en el sentido de caos determinístico, que tienen los flujos turbulentos nos trae a la memoria los versos de Borges:

El vago azar o las precisas leyes que rigen este sueño, el universo.

El carácter turbulento introduce un horizonte temporal de predictibilidad en el análisis numérico de estos flujos cuando utilizamos las leyes fundamentales originales, y esto obliga a un análisis estadístico de las soluciones. O, a la vista de la urgencia de la solución de los problemas de la ingeniería, nos vemos obligados a la utilización de leyes fenomenológicas para «cerrar» las ecuaciones que cumplen los valores medios estadísticos de interés en la ingeniería.

El descubrimiento experimental de estructuras coherentes en los chorros y capas de mezcla turbulenta, que son determinantes de su comportamiento y estructura global, ha aportado la esperanza de la modelización y el control racional de los procesos de mezcla.

Yo he tenido la fortuna de contar con antiguos alumnos y colaboradores, excepcionalmente brillantes (y entre ellos están los que se han incorporado a esta Universidad), que han hecho contribuciones muy importantes al conocimiento científico. Contribuciones, en primer lugar, al análisis experimental de los procesos de mezcla, con o sin combustión, utilizando técnicas avanzadas de visualización y anemometría láser. Contribuciones, en segundo lugar, a la formulación estadística de los procesos de combustión turbulenta, a la simulación numérica directa de los flujos turbulentos y también a las simplificaciones que, gracias a la presencia de escalas con tamaños muy dispares, pueden introducirse en el análisis de los procesos de combustión mediante técnicas asintóticas.

Con este nombramiento estáis honrando las contribuciones de éstos mis alumnos y colaboradores; contribuciones que, por otra parte, les han proporcionado un bien merecido prestigio en la comunidad científica internacional de la Mecánica de Fluidos. Muchas gracias.